

電気負荷変動による宇宙用スターリングサイクル発電機の発電特性

著者	佐藤 紘之, 塚野 徹, 棚次 亘弘
雑誌名	室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書
巻	2011
ページ	80-82
発行年	2012-07
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008771

電気負荷変動による宇宙用スターリングサイクル発電機の発電特性

佐藤 紘之（航空宇宙システム工学専攻 M2）

○ 塚野 徹（航空宇宙システム工学専攻 DC1）

棚次 亘弘（航空宇宙機システム研究センター長 特任教授）

1. はじめに

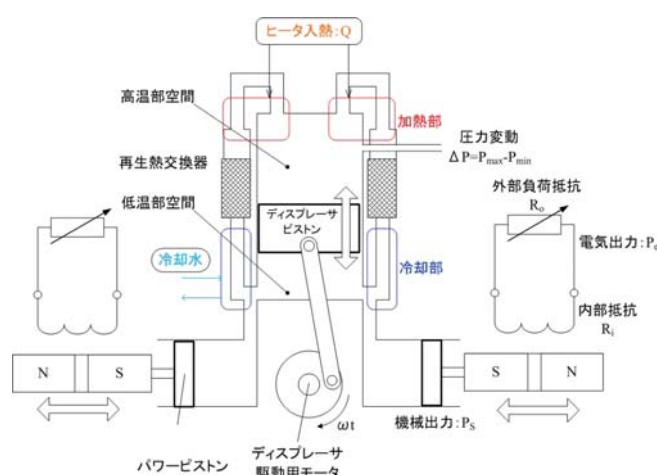
スターリングエンジンは内部に作動流体を密閉し、外部から温度差を与えることによって駆動する外熱機関である。このことから太陽熱の利用が可能であり、密閉サイクルであることから宇宙空間における発電システムとして利用が可能である。本研究で使用したスターリングエンジンはフリーパワーピストンと直結したリニア発電機を駆動することで発電する。この方式の発電機をピストン直結リニア発電機 (Linear Electrical Generator Integrated in Piston: LEGIP) と呼ぶ。

本研究ではフリーピストン形スターリングサイクル発電機について、電気的負荷の変化による電気出力の関係を取得する実験と、機械出力と動特性を取得するパワーピストンのモデル化による解析から、LEGIP の特性を明らかにすることを目的とした。

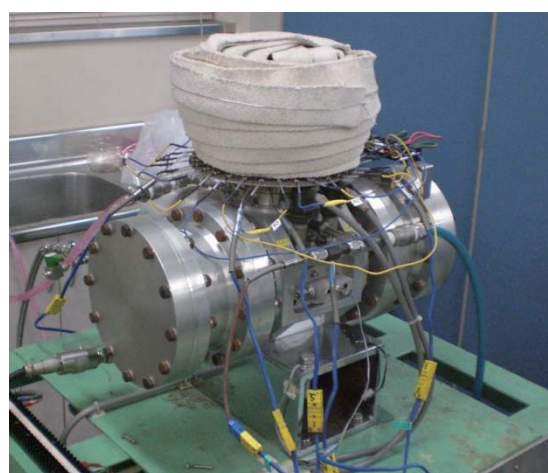
2. 実験装置と実験条件

2.1 フリーピストン形スターリングサイクル発電機

本実験で使用したフリーピストン形スターリングサイクル発電機の概略および外観写真を図 1 に示す。高温部は電気加熱式ヒータで加熱し、低温部は水冷とした。ディスプレイサが駆動することで内部に封入された作動流体が高温部と低温部を交互に移動する。作動流体の温度が変化に伴い、圧力変動が生じ、パワーピストンが駆動される。また、特徴として電気的な負荷抵抗を変化させることでピストンにかかる反力が変化し、フリーピストンであることからピストンストロークも変化する。



a) 装置概略



b) 外観写真

図 1 実験装置

2.2 実験条件

本実験の実験条件を表1に示す. LEGIPの電氣的負荷の変化による電氣出力の関係を取得するため, 供試エンジンにおいて, 電氣的な外部負荷抵抗をパラメータとした実験を実施した.

表1 実験条件

作動流体	—	—	ヘリウム
作動流体圧力	P	MPaG	1.0
高温部ガス温度	T_h	K	673
低温部ガス温度	T_c	K	293
ディスプレイサ 駆動周波数	f	Hz	17
外部負荷抵抗	R_o	Ω	55~605

3. LEGIP のモデル

LEGIP におけるフリーピストンに作用する力から減衰強制振動としてモデル化を行い, 解析する. 図 2 に解析モデルを示す. このモデルを運動方程式として式(1)に示す.

$$m\ddot{x} = -T_e - T_f - T_m + S\Delta Pe^{i\omega t}$$

(1)

フリーピストンに作用する外力と反力は以下のように定義した.

・発電による反力: T_e

ピストンの移動速度に比例し, 電氣的負荷に反比例する反力

・リニア発電機の励磁磁界による反力: T_m

ピストンと直結した磁石が移動することで磁石とコイルの間に生じ, 距離に比例する.

・圧力変動による外力: $S\Delta P$

摩擦による反力は外力や他の反力に比べ十分に小さいと仮定して無視し, 係数を用いると式(1)は式(2)で表すことができる.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = S\Delta Pe^{i\omega t} \quad (2)$$

4. エンジン特性評価

電氣出力は式(3)に示すように実験値である発電電流・電圧から求め, 機械出力は式(4)に示すように実験値である圧力変動と解析値であるピストンストロークからピストンに働く機械的仕事として求めた.

$$P_e = f \oint V I dt \quad (3)$$

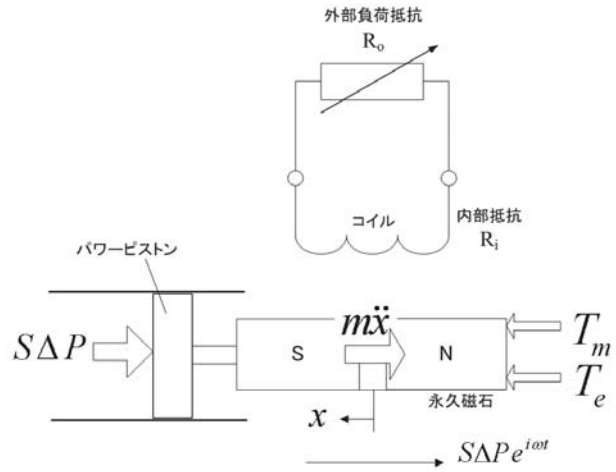


図 2 LEGIP の減衰強制振動モデル

$$P_s = f \oint S \Delta P x dt \quad (4)$$

電氣的負荷を 55～605 Ω で変化させた際のピストンストローク幅と機械出力の関係を図 3 に、機械出力と電氣出力の関係を図 4 にそれぞれ示す．図 3 より、55～205 Ω では、ピストンストロークと機械出力は共に増加傾向にあり、205～605 Ω では、ピストンストロークと機械出力は共に減少傾向にある．これは抵抗値が増加することにより回路に流れる電流が減少するため、反力が小さくなり、最大のピストンストローク幅が増加することで出力の増加につながる．しかし、ストローク幅が増加することで距離に比例する励磁磁界反力の増加とピストン移動速度の増加による、発電反力の増加によりストローク幅が低減される．よってピストンストローク幅および機械出力を最大にするような電氣的負荷抵抗が存在することを示しており、本実験の条件において外部負荷抵抗が 205 Ω の時に出力が最大になった．また、図 4 においても 205 Ω の時に電氣出力と機械出力が最大になっており解析と実験の双方で同様のことが確認された．

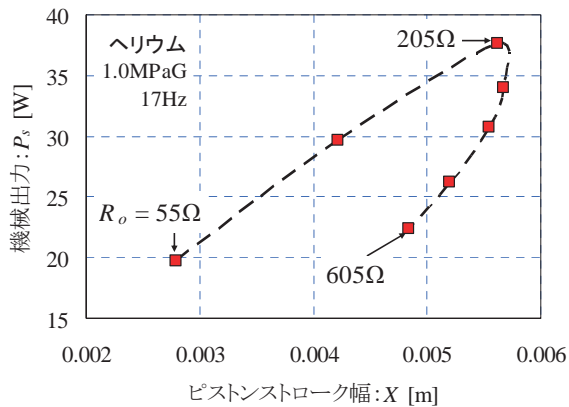


図 3 ピストンストローク幅と機械出力

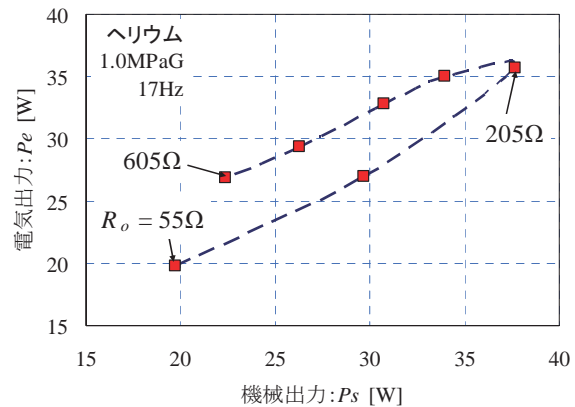


図 4 機械出力と電氣出力

5. まとめ

本研究では、供試エンジンのフリーピストン形スターリングサイクル発電機の電氣的負荷を変化させることによる LEGIP(ピストン直結リニア発電機)の以下の特性を実験および解析から明らかにした．

- 1) 電氣的負荷を変化させることでディスプレイサに対するパワーピストンのピストンストローク幅が変化する．
- 2) 各運転条件において、機械出力を最大にする位相差が存在し、この時ピストンストロークと電氣出力も最大になる．

本実験では、1 種類の周波数で実施したが、他の周波数でも同様に行い、周波数と出力を最大にする電氣的負荷の関係を取得することで LEGIP の特性を明らかにしていく．